

## 大阪湾堆積物中の有機態炭素・窒素, 全リン およびフェオフィチンの水平分布

門谷 茂, 三島康史, 黒川一幸, 岡市友利

### Distribution of Organic Carbon, Organic Nitrogen, Total Phosphorus and Pheo-Pigments in Surface Sediment from Osaka Bay, the Seto Inland Sea, Japan

Shigeru MONTANI, Yasufumi MISHIMA, Kazuyuki KUROKAWA  
and Tomotoshi OKAICHI

The organic carbon, organic nitrogen, total phosphorus and pheo-pigments in marine sediments were determined using the core samples collected at 13 stations all over the Osaka Bay, the Seto Inland Sea, Japan. The contents of organic carbon, organic nitrogen, total phosphorus and pheo-pigments per dry sediments were 6.1-20.0 mg/g, 1.2-2.8 mg/g, 0.25-0.64 mg/g and 22-87  $\mu\text{g/g}$  in surface layer (0-2 cm) of the sediments. The contents of these materials were higher northeastern coastal area than in the areas near the Akashi and Kitan straits. The atomic ratio of carbon to nitrogen fluctuated in the range from 8.2 to 10.6.

A good positive correlations were found between organic carbon, organic nitrogen, total phosphorus and pheo-pigments, expressed as  $Y_c = 0.171X + 5.88$  ( $r = 0.820$ ),  $Y_N = 0.0239X + 0.716$  ( $r = 0.930$ ), and  $Y_P = 0.00414X + 0.257$  ( $r = 0.821$ ), where X is pheo-pigments ( $\mu\text{g/g}$ ), and  $Y_c$ ,  $Y_N$  and  $Y_P$  are organic carbon, organic nitrogen and total phosphorus (mg/g), respectively. These results suggest that most of organic matters in the surface sediments originated from *in situ* primary production. However these slopes are lower compared with that of Harima Nada, and the intercepts are higher compared with Harima Nada. These results suggest that the contents of terrestrial organic matter in Osaka Bay may be higher than that of Harima Nada.

From such distribution of organic carbon, organic nitrogen, total phosphorus and sedimentation rates, the annual burial fluxes to bottom sediment in the inner part of Osaka Bay were larger 1.5-1.6 times than in the offshore areas.

瀬戸内海西部に位置する大阪湾全域の13点において柱状堆積物試料を採取し、表層堆積物中(0~2 cm)の有機態炭素・窒素, 全リンおよびフェオフィチンの分析を行った。その結果大阪湾の表層堆積物中の濃度は、有機態炭素で6.1-20.0 mg/g, 有機態窒素で1.2-2.8 mg/g, 全リンで0.25-0.64 mg/g, フェオフィチンで22-87  $\mu\text{g/g}$ の範囲であった。各成分とも同様な水平分布を示し、大阪湾湾奥部が高く、明石海峡や紀淡海峡付近で低くなる傾向があった。そしてC/N比(atomic ratio)は8.2~10.6であった。

有機態炭素・窒素, 全リンとフェオフィチンとはそれぞれよい相関関係が得られ、関係式は以下のようになった。

$$\text{有機態炭素 (mg/g)} = 0.171 \times \text{フェオフィチン } (\mu\text{g/g}) + 5.88 \quad (r = 0.820)$$

$$\text{有機態窒素 (mg/g)} = 0.0239 \times \text{フェオフィチン } (\mu\text{g/g}) + 0.716 \quad (r = 0.930)$$

$$\text{全リン (mg/g)} = 0.00414 \times \text{フェオフィチン } (\mu\text{g/g}) + 0.257 \quad (r = 0.821)$$

これらの結果から表層堆積物中に含まれている有機物は現場の基礎生産により生産されたものが多いと考えられた。しかし、播磨灘と比べるとこれらの関係式の傾きは小さく、切片は大きな値となっており、播磨灘に比べると大阪湾では陸起源有機物が多いことが分かる。そして堆積速度と表層堆積物中の有機態炭素・窒素、全リンから埋没流速を計算すると、1.5~1.6倍湾奥部で速くなっていることがわかった。

## 結 言

瀬戸内海東部に位置する大阪湾は、北東~南西方向に約60 kmの長軸をもつ楕円形の陥没湾で、南西部は紀淡海峡を経て紀伊水道に、北西部は明石海峡を通して播磨灘とつながっており、面積1275 km<sup>2</sup>の閉鎖性の強い海域である。

湾北岸には神戸・大阪・堺等の大港湾や臨海工業地帯が密集し、背後の平野部には流域人口千数百万人の生活が営まれている過密都市がある。そして、湾奥には近畿地方最大の河川である淀川をはじめとする6本の大きな河川が流入しており、湾全体への淡水流入量の90%以上を占めている<sup>(1)</sup>。そして、これらの河川により、1日当たり窒素が約180トン、リンが約12トン負荷されている<sup>(2)</sup>。負荷された窒素、リンが溶存態のままであれば海水と同じ動きをすることになるので海洋物理学的観測を行うことで、この負荷された窒素、リンの運命は決定できるが、海洋では生物がこれを受けとめ、粒子化するためその挙動は複雑なものとなる。

著者らは大阪湾全域から紀伊水道にかけて13点で柱状堆積物試料を採取し、各種の有機物の分析・定量を行ってきた。本報告ではこれらの分析結果に基づき、堆積物表層(0~2 cm)における有機態炭素・窒素、全リン、フェオフィチンの水平分布を明らかにするとともに、すでに報告されている堆積速度から大阪湾における有機態炭素・窒素、全リンの堆積・埋没量を推定することを試みた。

## 試料および方法

### 1. 試料採取

堆積物の柱状試料は Fig. 1 に示した大阪湾から紀伊水道にかけての13点で1985年6月に広島大学生物生産学部所属の豊潮丸により採取した。各地点とも内径38 mmの柱状採泥器を用いて数本採取し、船上にて直ちに2 cm毎に切断し、凍結保存して実験室に持ち帰った。実験室で凍結乾燥後、メノウ乳鉢で粉碎して、後の分析に供した。

### 2. 有機態炭素・窒素の定量

乾燥堆積物試料約2 gを200 ml容ナス型フラスコに精秤して入れ、0.5 M-HCl 20 mlを加えて一晩室温中に放置した後、ロータリーエバポレータを用いて、50°C以下で減圧乾固し、無機態炭素を除去した。このフラスコ内の試料をメノウ乳鉢で粉末状にして分析時までデシケーター内で保存した。これを有機態炭素・窒素分析用の試料とし、柳本MT-500型C・Nコーダーを用いて同時定量した。なお無機態炭素については本報告では議論しない。

### 3. 全リンの定量

乾燥堆積物試料約200 mgを精秤し、100 ml容肉厚ガラスビン(Schott社製、ねじロビン)に取り、これに1 M-HClを30 ml加えて一昼夜室温で放置した後、GF/Cフィルターを用いて濾別した。濾液は適当倍に希釈し、モリブデンブルー法<sup>(3)</sup>で比色定量した。この画分を塩酸抽出リン(HCl-P)とする。また堆積物の抽出残渣はGF/Cフィルターごと100 ml容テフロンピーカーに入れ、46%フッ化水素(HF)と12 M-HClをそれぞれ5 mlづつ加えて、ホットプレート上で酸分解乾固後、これに1 M-HCl 10 mlを加え、5分間超音波処理して残余のリンを抽出した。この抽出液を先と同様にモリブデンブルー法で分析定量し、これを難溶解性リン(Res-P)とした。HCl-PとRes-Pの和を全リン(T

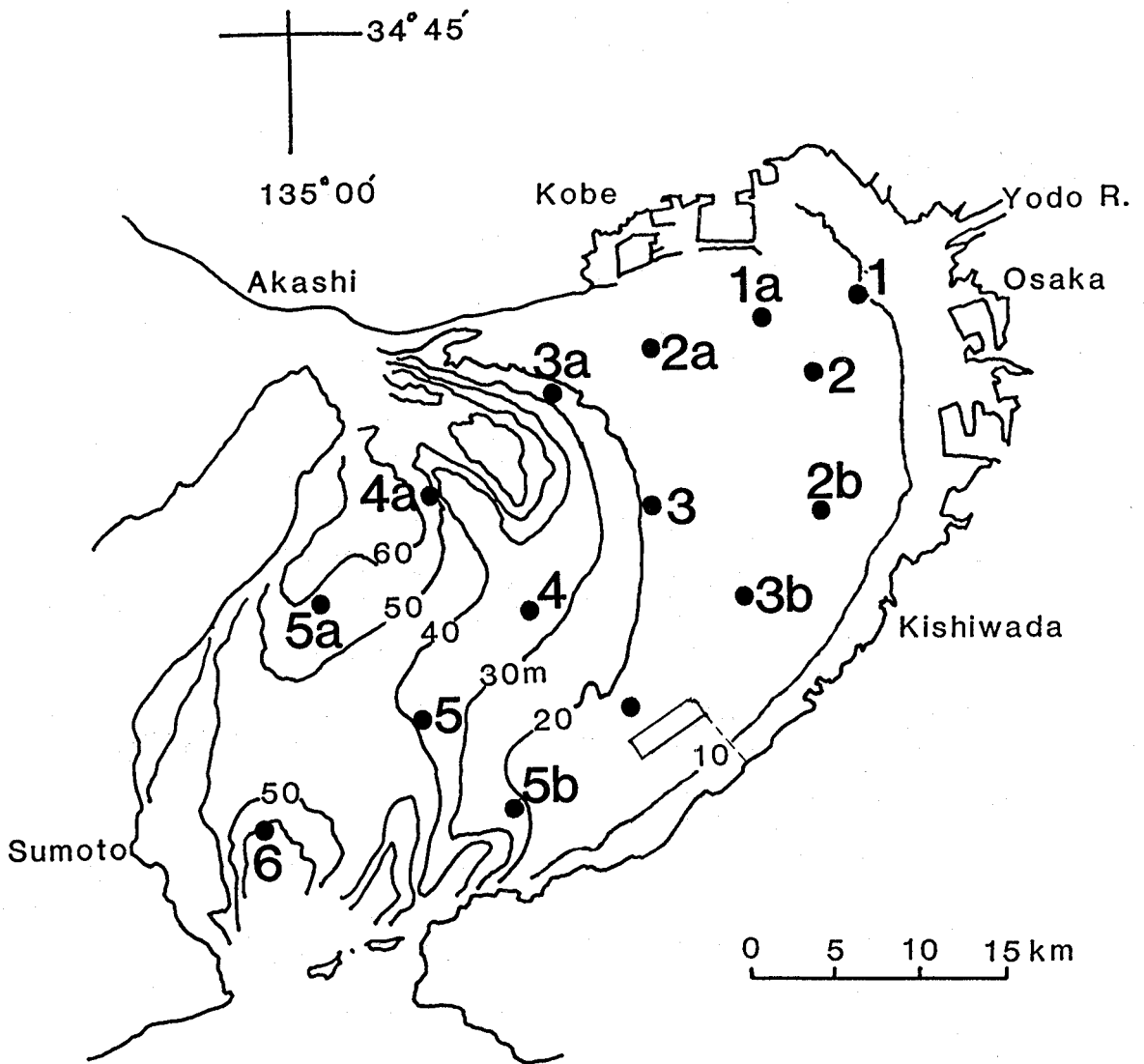


Fig. 1 Location map of sampling stations in Osaka Bay, the Seto Inland Sea

-P)とした。本報では全リンについてのみ報告する。

#### 4. フェオフィチンの定量

乾燥堆積物試料 1 g を精秤し, 10 ml 容ねじ口遠沈管に入れ, 90%アセトン 5 ml を加え, 約15分間超音波処理を行って粒子を分散させた後, 5°C前後で12時間抽出を行った。ついで遠心分離 (3,000 rpm, 5分間) し, その上澄液について Parsons ら<sup>(9)</sup> の方法で比色分析し, フェオフィチン量を求めた。なお今回は抽出液に 1 M-HCl を添加し, 一部残存している可能性のあるクロロフィルもフェオフィチンに変え定量した。

## 結果および考察

大阪湾の表層堆積物(0~2cm)中の有機態炭素・窒素, 全リンおよびフェオフィチンの水平分布を Fig 2~Fig 5 に示した。有機態炭素・窒素, 全リンおよびフェオフィチンの濃度は, それぞれ6.1-20.0 mg/g, 1.2-2.8 mg/g, 0.25-0.64 mg/g および 22-87  $\mu\text{g/g}$  の範囲にあった。有機態炭素・窒素, 全リンおよびフェオフィチンは, ほぼ同じ分布傾向を示しており, 湾東部および奥部の海域で高く, それぞれ15 mg/g, 2 mg/g, 0.5 mg/g, 50  $\mu\text{g/g}$  以上の高濃度域が見られた。とりわけ神戸六甲アイランド沖の Stn. 1a では, それぞれ20 mg/g, 2.8 mg/g, 5.6 mg/g, 87  $\mu\text{g/g}$

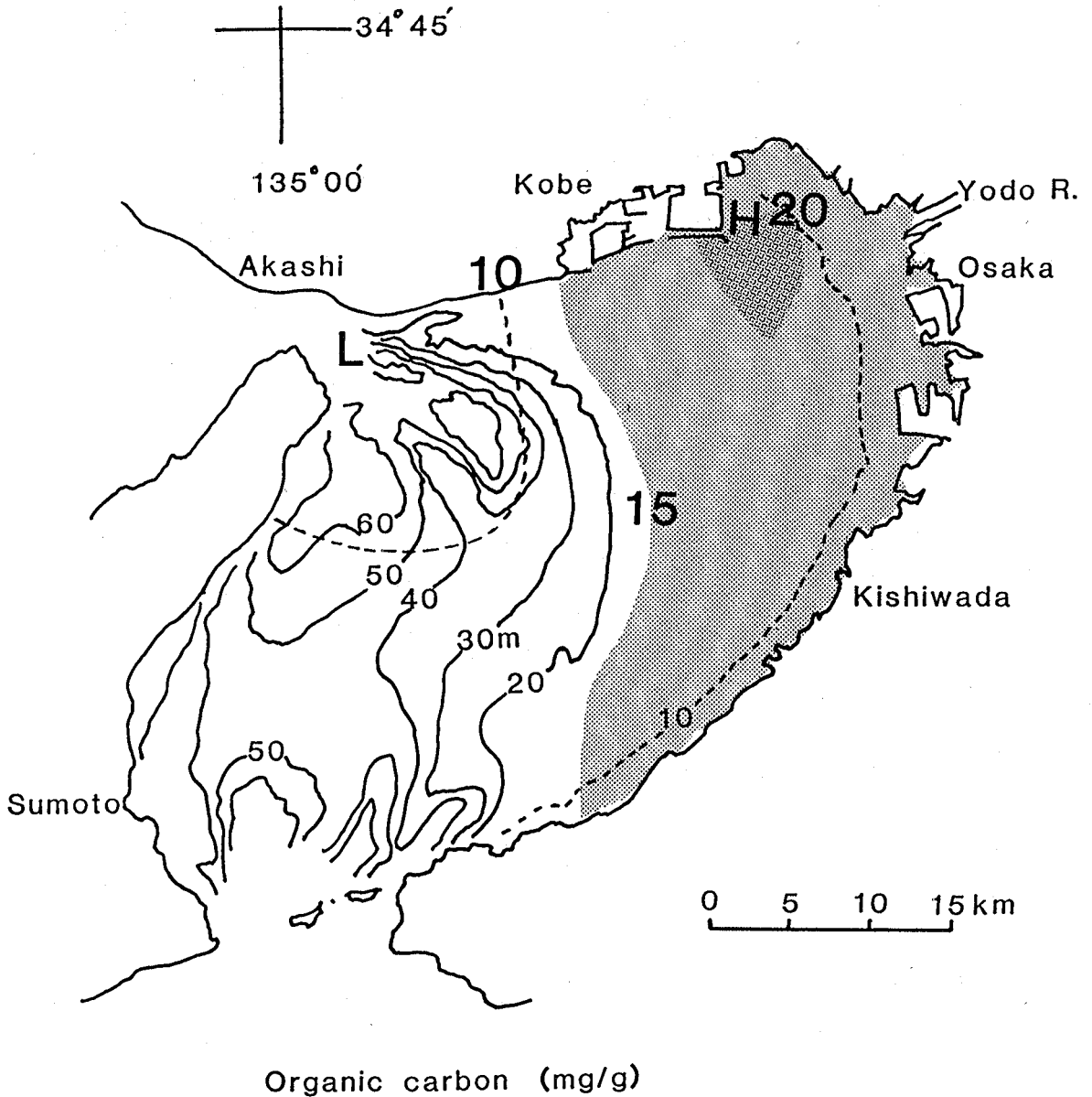


Fig 2 Distribution map of organic carbon in surface sediments(mg/g).

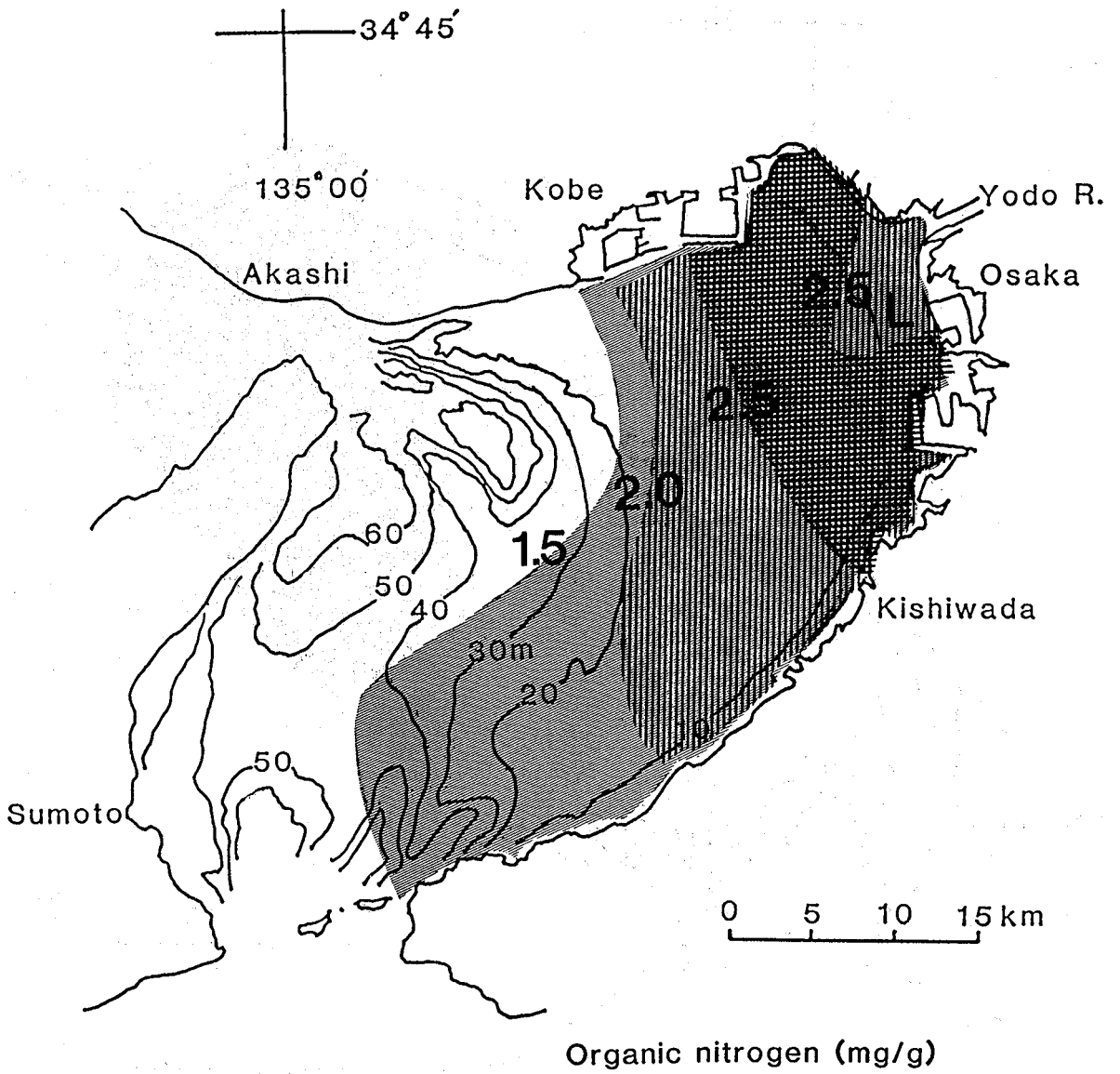


Fig. 3 Distribution map of organic nitrogen in surface sediments(mg/g).

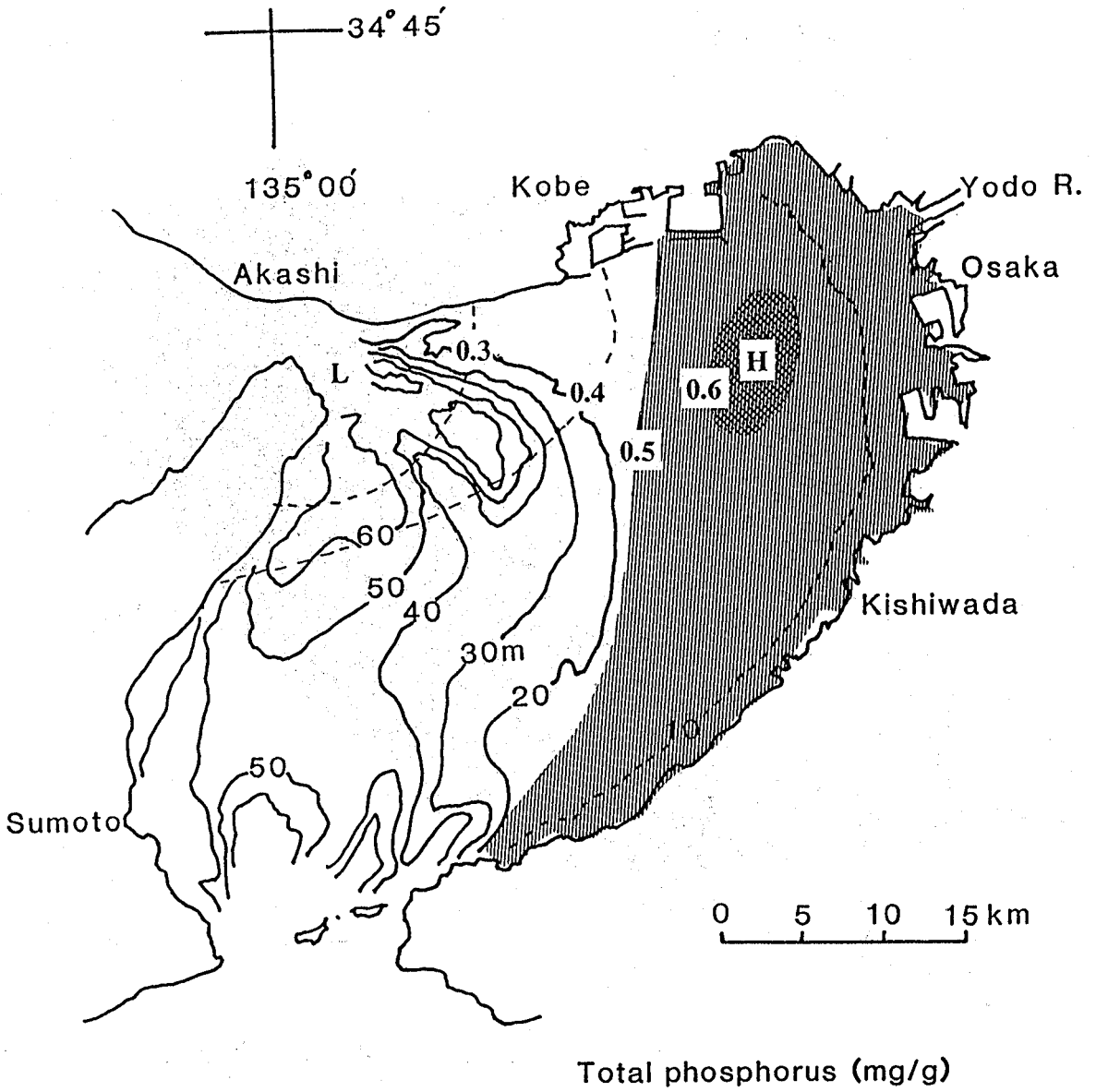


Fig. 4 Distribution map of total phosphorus in surface sediments(mg/g).

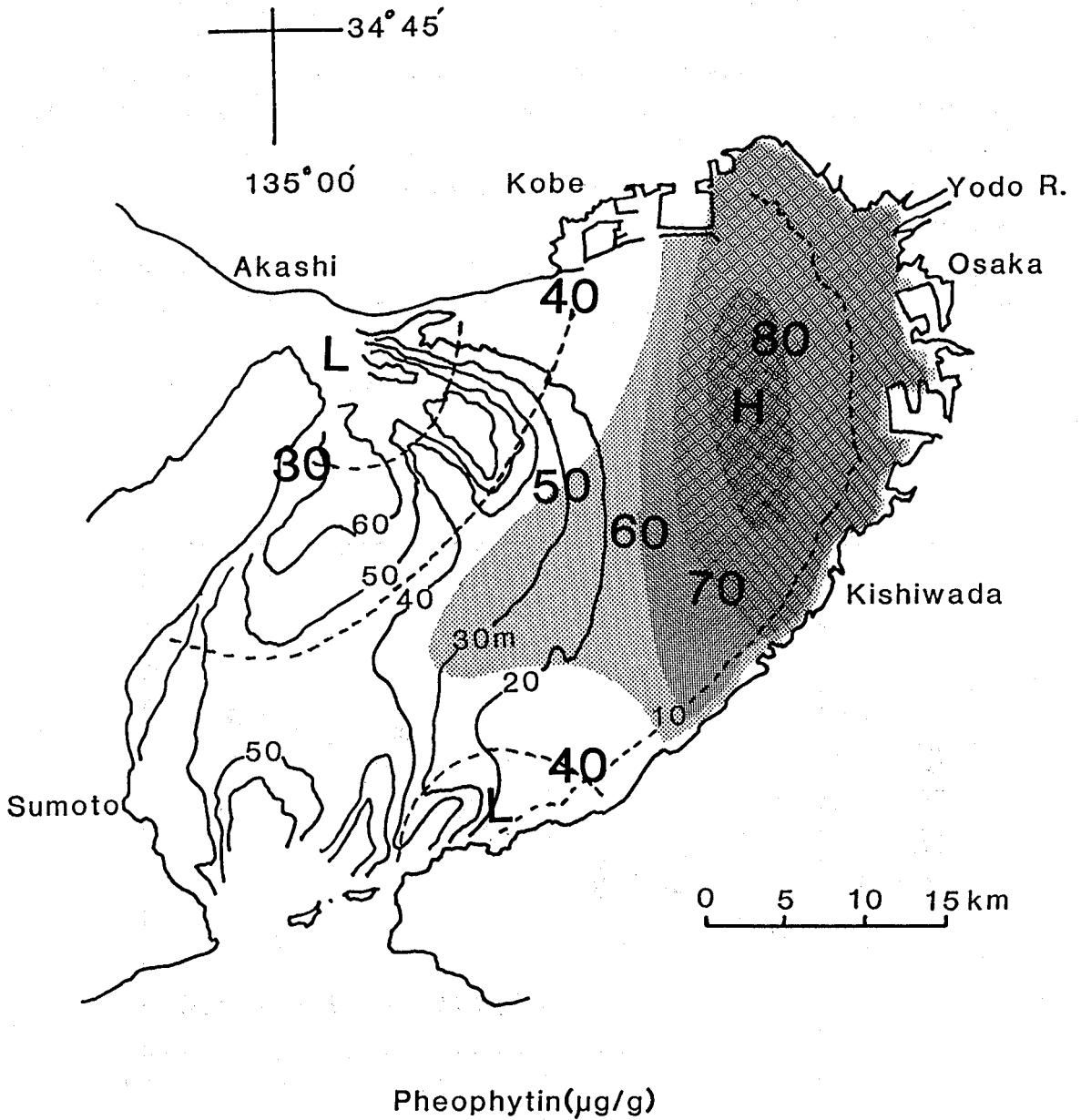


Fig 5 Distribution map of pheo-pigments in surface sediments( $\mu\text{g/g}$ ).

gと非常に高濃度の値が得られている。また、C/N比は大阪湾全体を通して8.2~10.6の範囲に入っていた。

井内<sup>(4)</sup>によると大阪湾では、北東部・中央部海域および淡路島東岸沿岸には、中央粒径(Md $\phi$ )が6以上の泥質堆積物であるが、この海域から明石海峡および友ヶ島水道の両海峡部に向かって粗粒となり、海峡部ではMd $\phi$  0以下の粗粒砂質堆積物となっている。

これらのことから、大阪湾表層堆積物中の有機物の水平分布パターンは、直上の有光層中で生産される植物プランクトン現存量の多寡だけでなく、大阪湾に存在する恒流系(柳・高橋<sup>(5)</sup>; 藤原<sup>(6)</sup>)に大きく影響を受けていることが予想される。

これらの値と播磨灘の値<sup>(7)</sup>を比べてみると、大阪湾奥部で得られた有機態炭素・窒素、全リン、フェオフィチンの値は播磨灘の加古川、市川河口付近で得られた値と近くなっている。

また、いずれの成分の水平分布を見ても淀川河口に最も近いStn 1よりも少し離れたStn. 1a, 2等で高い値が得られており、淀川による直接の有機物負荷よりも、河川から運ばれた栄養塩類を植物プランクトンが粒子化し、それが沈降・堆積した結果によるものではないかと考えられる。

次に、表層堆積物中のフェオフィチンと有機態炭素・窒素および全リン濃度の関係をそれぞれFig 6, 7, 8に示した。

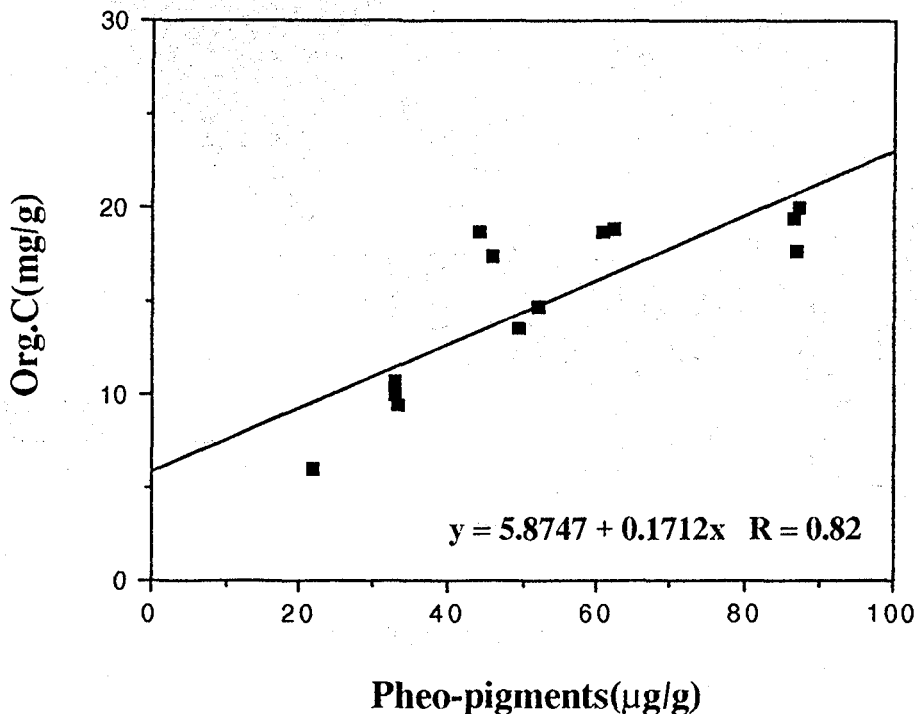


Fig 6 Correlation between pheo-pigments and organic carbon in surface sediments



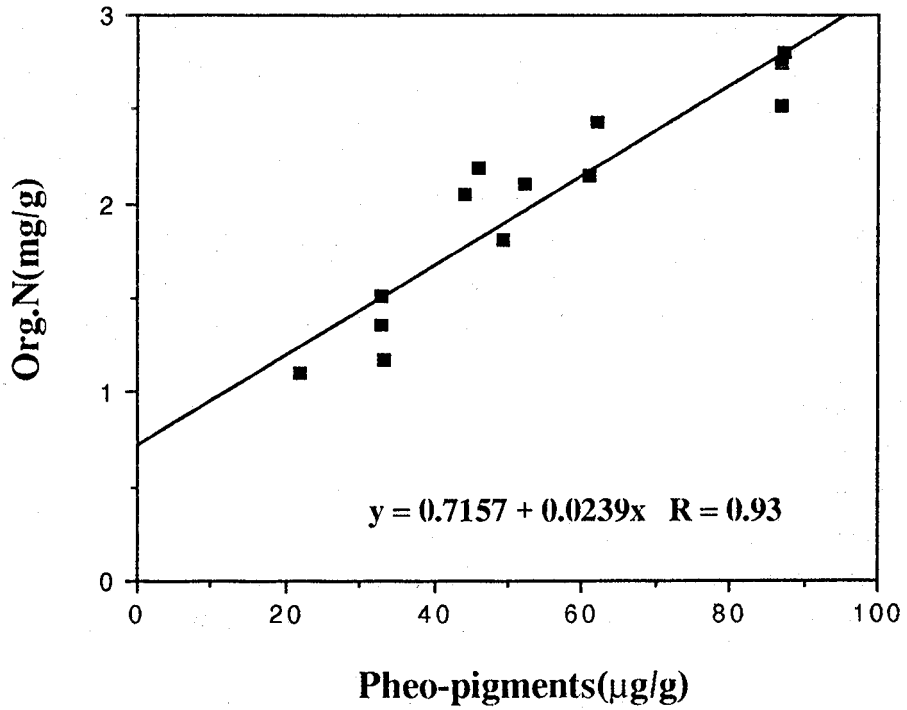


Fig 7 Correlation between pheo-pigments and organic nitrogen in surface sediments.

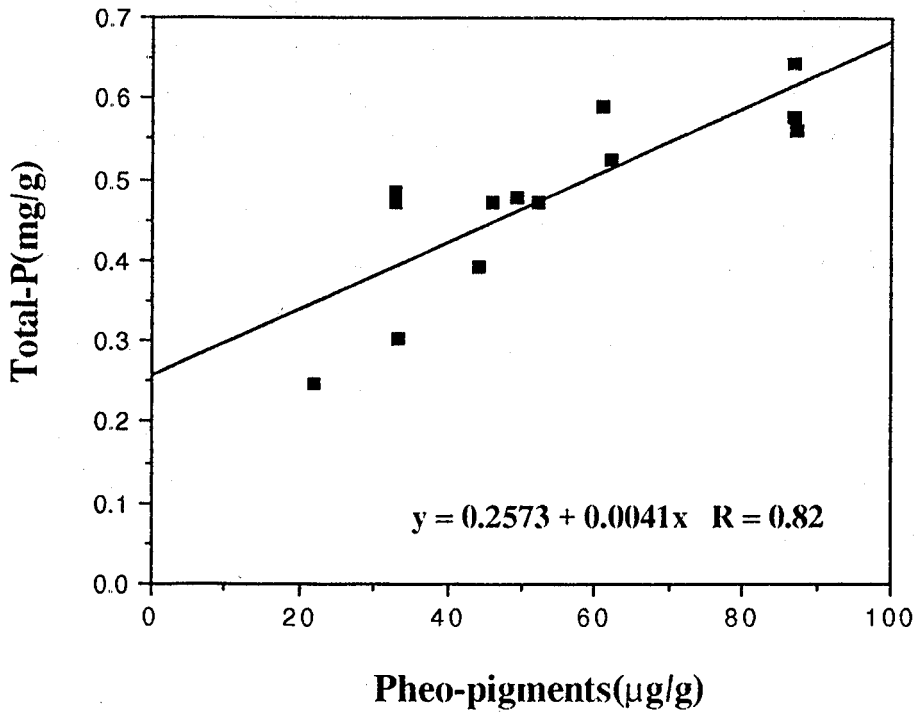


Fig 8 Correlation between pheo-pigments and total phosphorus in surface sediments.

これらを見ると、3者とも比較的高い相関関係(C: 0.820, N: 0.930, P: 0.821)が得られた。これらの関係式のY切片の値(フェオフィチンの量が0のときの有機態炭素・窒素および全リン濃度)は陸起源粒子のものと考えられ、回帰直線の傾きから計算される値は現場の植物プランクトン由来のものと考えられる。そこでY切片および回帰直線の傾きの値を用いてC:N:P比を計算してみると、陸起源粒子ではC:N:P = 59.1:6.2:1, 植物プランクトン起源の粒子ではC:N:P = 107:13:1となった。回帰直線の傾きより計算されるC:N:P比は、植物プランクトンの平均的なC:N:P比(106:16:1)<sup>(6)</sup>と非常に近い値となっていたことは注目される。陸起源物質ではPの値が相対的に2倍程度大きくっており、陸起源粒子はリンをきわめて豊富に含んでいることが分かる。

播磨灘でのこれらの相関関係は以下に示した数値である<sup>(7)</sup>。これらの値と、今回大阪湾で得られた値と比較してみた。

$$\text{有機態炭素 (mg/g)} = 0.304 \times \text{フェオフィチン } (\mu\text{g/g}) + 2.44 \quad (r = 0.894)$$

$$\text{有機態窒素 (mg/g)} = 0.0395 \times \text{フェオフィチン } (\mu\text{g/g}) + 0.352 \quad (r = 0.841)$$

$$\text{全リン (mg/g)} = 0.00444 \times \text{フェオフィチン } (\mu\text{g/g}) + 0.229 \quad (r = 0.682)$$

この3つの関係とも、Y切片は大阪湾で得られている値の方が播磨灘で得られている値よりも大きく、播磨灘より大阪湾の方が陸起源有機物をより多く含んでいるのではないかと考えられる。これは大阪湾に注ぐ淀川など6本の河川の総流入量は毎秒400 tonと非常に大きく、河川から運ばれてくる有機物が、播磨灘に比べて大阪湾には多いためと考えられる。

大阪湾は海底地形等により、湾奥(湾北東部)および湾口(南西部)の二つに分けられ、潮流など物理環境はこの二つの海域では大きく異なっている。潮汐フロント一般に潮汐フロントの位置は、クリティカル・パラメーター:  $H/U^3$  (H:水深(m), U:潮流振幅(m sec<sup>-1</sup>))に支配されている<sup>(9)</sup>。しかしながら大阪湾では湾奥に大きな河川である淀川が存在し、淡水流入の強い影響を受け、湾口部には潮流の強流帯がある。

大阪湾における潮汐フロントの位置はFig 1に示した大阪湾の等深度線図の20-30 m深線によく一致しており<sup>(10)</sup>、この線はまた有機態炭素・窒素、全リン、フェオフィチンの高濃度域と低濃度域をわける線ともよく一致している。これらの事から、この潮汐フロントをはさんで湾奥部と湾口部では物質の循環過程が大きく異なっていることが予想される。

MONTANIら<sup>(11)</sup>は大阪湾をフロントにより2つの海域(湾奥海域:水深20 m以浅, 湾央・湾口海域:水深20 m以深)に分けて、実際沈降している粒子をセディメントトラップにより捕集し分析している。そして、湾奥部のStn 2, 3では新鮮な粒子が少量沈降し、湾央・湾口部のStn. 5では易分解性の有機物がほとんど消失した“古い粒子”が大量に沈降していることを示している。このような沈降粒子の湾奥、湾央・湾口部の沈降粒子の化学的性格の違いが、堆積物中の各有機物濃度に大きく影響を与えているのではないかと考えられる。

2つの海域でのC, N, Pの堆積量を比較してみると(Table 1)<sup>(11)</sup>、湾奥部、湾央・湾口部ともに堆積速度にはそれほど大きな差はみられない(湾奥部:  $0.22 \text{ cm}^{-2}\text{y}^{-1}$ , 湾央・湾口部:  $0.20 \text{ cm}^{-2}\text{y}^{-1}$ )が、堆積物中のC, N, P濃度は1.4

Table 1. Burial fluxes of carbon, nitrogen and phosphorus at Osaka Bay

	Sedimentation		Mean concentration in surface sediment			Burial flux		
	area	rate	C	N	P	C	N	P
	(km <sup>2</sup> )	(g/cm <sup>2</sup> /y)	(mg/g)			(ton/d)		
Linner part (20m>)	765	0.22	17	2.4	0.50	78.4	11.1	2.31
Offshore (20m<)	510	0.20	12	1.8	0.35	33.5	5.0	0.98
Total	1275	—	—	—	—	111.9	16.1	3.39

倍程度湾奥部の方が高く, 堆積・埋没流速はC, N, Pでそれぞれ湾奥部では $0.102 \text{ gm}^{-2}\text{day}^{-1}$ ,  $0.0145 \text{ gm}^{-2}\text{day}^{-1}$ ,  $0.00302 \text{ gm}^{-2}\text{day}^{-1}$ となり, 湾央・湾口部ではそれぞれ $0.0066 \text{ gm}^{-2}\text{day}^{-1}$ ,  $0.0098 \text{ gm}^{-2}\text{day}^{-1}$ ,  $0.0019 \text{ gm}^{-2}\text{day}^{-1}$ となり, 1.5~1.6倍湾奥部で速くなっていることがわかる。また沈降粒子束との比較を行ってみると, 湾奥部では沈降粒子束の12~21%が沈降後堆積・埋没しているが, 湾央・湾口部ではその値は2~8%と低く, 下方に沈降しつつある粒子のほとんどはそのまま堆積するのではなく, さらに湾口・湾外へと運ばれている可能性が高い。

このようにフロントをはさんで湾奥域と湾口域では生物・物理・化学過程が異なっており, フロントの存在が大坂湾の堆積環境に大きく影響を与えていることが分かった。そして, 大阪湾の表層堆積物の水平分布は, 大阪湾のこれらの過程の違いをよく表している。

## 引用文献

- (1) 城 久: 大阪湾における富栄養化の構造と富栄養化が漁業生産におよぼす影響について, 大阪府水産試験場研究報告, 174p, (1986).
- (2) 柳 哲雄, 柴木秀之, 武岡英隆: 播磨灘・大阪湾の塩分, 窒素, リンの収支, 沿岸海洋研究ノート, 22, 159-164(1985).
- (3) PARSONS, T. R., Y. MAITA and C. M. LALLI: A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis, Pergamon Press, 173p, (1984).
- (4) 井内美郎: 瀬戸内海における表層堆積物の分布, 地質学雑誌, 88, 665-681, (1982).
- (5) 柳 哲雄・高橋 暁: 大阪湾の残差流の変動, 沿岸海洋研究ノート, 26, 66-70, (1988).
- (6) 藤原建紀・肥後竹彦・高杉由夫: 大阪湾の恒流と潮流・渦, 海岸工学論文集, 36, 209-213(1989).
- (7) MONTANI, S., K. TADA and T. OKAICHI: Distribution of organic carbon, organic nitrogen, total phosphorus and pheo-pigments in surface sediment from Harima-nada, the Seto Inland Sea, Japan, *La Mer*, 25, 62-72(1987).
- (8) REDFIELD, A. C., B. H. KETCHUM and F. A. BRUSHER: *The Sea*, Interscience Publ., 2, 26p, (1963).
- (9) SIMPSON, J. H. and J. R. HUNTER: Fronts in the Irish Sea, *Nature*, 250, 404-406(1974).
- (10) 門谷 茂: 粒子状物質の挙動(柳哲雄編): 潮目の科学—沿岸フロント域の物理・化学・生物過程—, p37-67, 恒星社厚生閣, (1990).
- (11) MONTANI, S., Y. MISHIMA and T. OKAICHI: Scavenging processes of marine particles in Osaka Bay, *Marine Pollutin Bulletin, EMECS' 90 proceedings* (1990). (in press)

(1990年10月31日受理)